



Instituto de Ciência e Tecnologia  
Universidade Federal de São Paulo

# Compiladores: Análise Sintática LL(1)

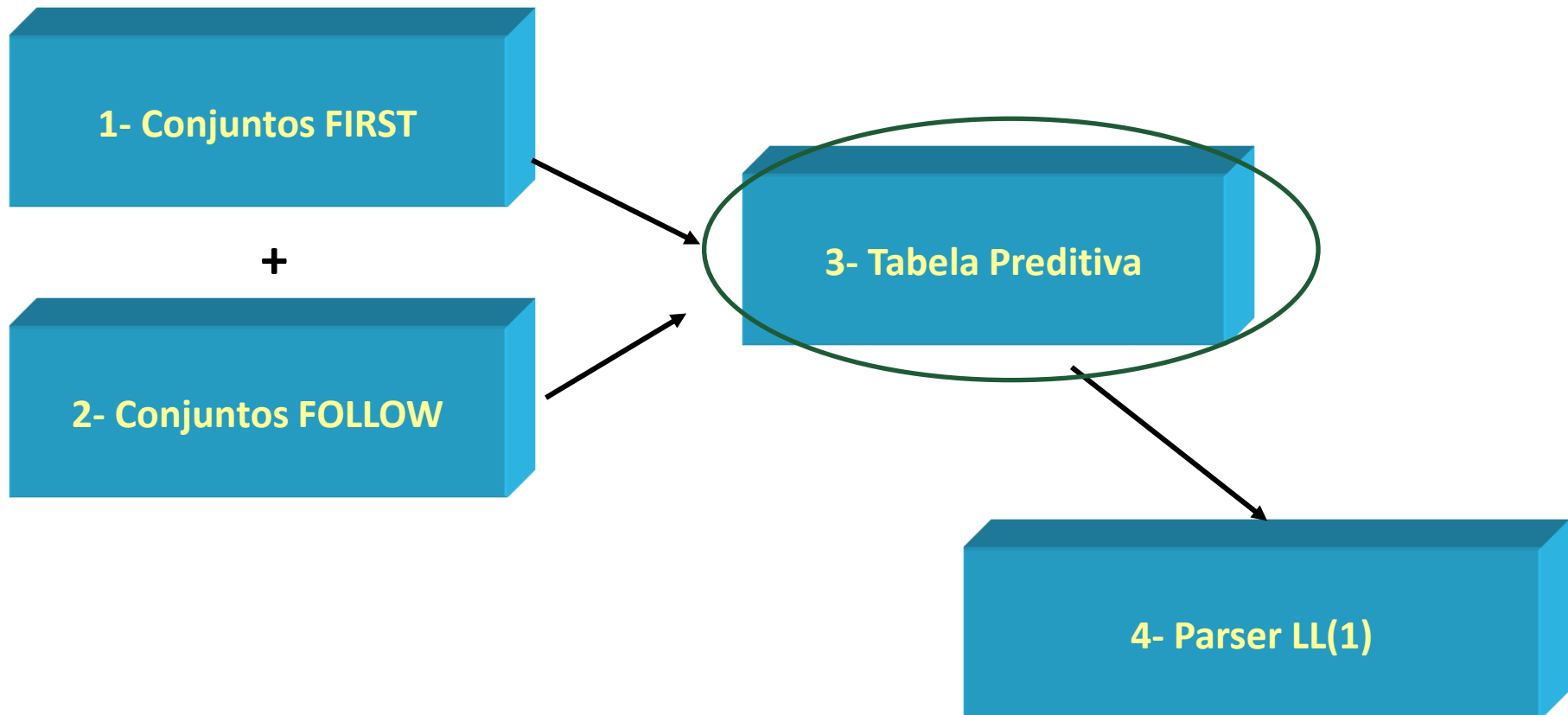
Prof<sup>a</sup> Thaína A. A. Tosta

[tosta.thaina@unifesp.br](mailto:tosta.thaina@unifesp.br)

São José dos Campos – 2021/2

# Análise Sintática LL(1)

Estratégia de construção do *parser* LL(1)



# Análise Sintática LL(1)

## Estratégia de construção do *parser* LL(1)

- A construção da tabela preditiva para gramáticas complexas não é tarefa trivial;
- Para auxiliar na construção da tabela preditiva, adotamos a construção de conjuntos Primeiros (*FIRST*) e de Seqüência (*FOLLOW*);
- Conjuntos *FIRST* ajudam a escolher as regras gramaticais quando a parte sentencial delas começam com símbolos não-terminais;
- Conjuntos *FOLLOW* ajudam a saber quais *tokens* podem suceder apropriadamente um símbolo não-terminal que pode desaparecer durante a derivação.

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos *FIRST*

- Dada uma gramática, deve ser criado um conjunto *FIRST* para cada símbolo da gramática, terminal ou não-terminal;
- Seja  $X$  um símbolo gramatical, o conjunto  $FIRST(X)$  é composto por terminais, e possivelmente  $\epsilon$ , definido da seguinte maneira:
  - Se  $X$  for um terminal ou  $\epsilon$ , então  $FIRST(X) = \{X\}$ ;
  - Se  $X$  for um não-terminal, então para cada escolha de produção  $X \rightarrow X_1X_2...X_n$ ,  $FIRST(X)$  contém  $FIRST(X_1) - \{\epsilon\}$ .

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Adicionalmente:
  - Considerando a produção  $X \rightarrow X_1X_2...X_n$ , se para algum  $i < n$ , todos os conjuntos  $FIRST(X_1), ..., FIRST(X_i)$  contiverem  $\epsilon$ , então  $FIRST(X)$  conterá  $FIRST(X_{i+1}) - \{\epsilon\}$ ;
  - Se todos os conjuntos  $FIRST(X_1), ..., FIRST(X_n)$  contiverem  $\epsilon$ , então  $FIRST(X)$  também conterá  $\epsilon$ .

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Observações sobre a construção dos conjuntos FIRST:
  - O conjunto FIRST é formado apenas por símbolos terminais (e possivelmente  $\epsilon$ );
  - A definição dos conjuntos FIRST funciona “à esquerda” das produções;
  - Um não-terminal  $A$  é anulável (ou seja, pode desaparecer) se e somente se  $\text{FIRST}(A)$  contiver  $\epsilon$ .

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Algoritmo para construção do conjunto FIRST:

```
for cada não-terminal  $A$  do  $\text{Primeiro}(A) := \{\}$ ;  
while houver alterações em algum  $\text{Primeiro}(A)$  do  
  for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1X_2\dots X_n$  do  
     $k := 1$  ;  $\text{Continue} := \text{true}$  ;  
    while  $\text{Continue} = \text{true}$  and  $k \leq n$  do  
      acrescente  $\text{Primeiro}(X_k) - \{\epsilon\}$  a  $\text{Primeiro}(A)$  ;  
      if  $\epsilon$  não pertencer a  $\text{Primeiro}(X_k)$  then  $\text{Continue} := \text{false}$  ;  
       $k := k + 1$  ;  
  if  $\text{Continue} = \text{true}$  then acrescente  $\epsilon$  a  $\text{Primeiro}(A)$  ;
```

Figura 4.6 Algoritmo para a computação de  $\text{Primeiro}(A)$  para todos os não-terminais  $A$ .

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Algoritmo para construção do conjunto FIRST:

```
for cada não-terminal  $A$  do  $\text{Primeiro}(A) := \{\}$ ;  
while houver alterações em algum  $\text{Primeiro}(A)$  do  
  for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1X_2\dots X_n$  do  
    acrescente  $\text{Primeiro}(X_1)$  a  $\text{Primeiro}(A)$ ;
```

Figura 4.7 Algoritmo simplificado da Figura 4.6 na ausência de  $\epsilon$ -produções.



# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Exemplo (4.9 – Louden):

Considere a gramática:

$\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

$\text{soma} \rightarrow + \mid -$

$\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

$\text{mult} \rightarrow *$

$\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

# Análise Sintática LL(1)

Tabela 4.6 Computação dos conjuntos Primeiros para a gramática do Exemplo 4.9.

Regra gramatical	Passada 1	Passada 2	Passada 3
$exp \rightarrow exp$ soma termo			
$exp \rightarrow termo$			$Primeiro(exp) = \{ (, número ) \}$
$soma \rightarrow +$	$Primeiro(soma) = \{ + \}$		
$soma \rightarrow -$	$Primeiro(soma) = \{ +, - \}$		
$termo \rightarrow termo$ mult fator			
$termo \rightarrow fator$		$Primeiro(termo) = \{ (, número ) \}$	
$mult \rightarrow *$	$Primeiro(mult) = \{ * \}$		
$fator \rightarrow ( exp )$	$Primeiro(fator) = \{ ( \}$		
$fator \rightarrow número$	$Primeiro(fator) = \{ (, número \}$		

```

for cada não-terminal A do Primeiro(A) := {};
while houver alterações em algum Primeiro(A) do
    for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do
        acrescente Primeiro( $X_1$ ) a Primeiro(A);
    
```

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FIRST

- Exemplo:

Considere a gramática:

$\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

$\text{soma} \rightarrow + \mid -$

$\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

$\text{mult} \rightarrow *$

$\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

$\text{Primeiro}(\text{exp}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{termo}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{fator}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{soma}) = \{ +, - \}$

$\text{Primeiro}(\text{mult}) = \{ * \}$

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FOLLOW

- Necessários para a montagem da tabela preditiva, quando algum conjunto FIRST possui  $\epsilon$ ;
- Dado um não-terminal  $A$ , o conjunto  $\text{FOLLOW}(A)$ , composto por terminais e possivelmente  $\$$ , é definido como:
  1. Se  $A$  for o símbolo inicial, então  $\$$  pertence a  $\text{FOLLOW}(A)$ ;
  2. Se houver uma produção  $B \rightarrow \alpha A \gamma$ , então  $\text{FIRST}(\gamma) - \{\epsilon\}$  pertence a  $\text{FOLLOW}(A)$ ;
  3. Se houver uma produção  $B \rightarrow \alpha A \gamma$  tal que  $\epsilon$  pertença a  $\text{FIRST}(\gamma)$ , então  $\text{FOLLOW}(A)$  contém  $\text{FOLLOW}(B)$ ;

OBS: o símbolo  $\$$  indica final da entrada (se comporta como se fosse um *token* indicando fim de arquivo).

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FOLLOW

- Observações sobre a construção dos conjuntos FOLLOW:
  - O conjunto FOLLOW é formado apenas por símbolos terminais;
  - O símbolo \$ indica final da entrada (se comporta como se fosse um *token*);
  - $\epsilon$  nunca é um elemento do conjunto FOLLOW ( $\epsilon$  foi usado nos conjuntos FIRST apenas para marcar as cadeias que podem desaparecer);
  - Os conjuntos FOLLOW são definidos apenas para os símbolos não-terminais;
  - A definição dos conjuntos FOLLOW funciona “à direita” das produções;
  - Regras que não têm não-terminais à direita nada acrescentam à construção dos conjuntos FOLLOW.

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FOLLOW

```
Seqüência(símbolo-inicial) := {$} ;  
for cada não-terminal  $A$  # símbolo-inicial do Seqüência( $A$ ) := { } ;  
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do  
  for cada produção  $A \rightarrow X_1X_2...X_n$  do  
    for each  $X_i$  que for não-terminal do  
      adicione Primeiro( $X_{i+1}X_{i+2}...X_n$ ) -  $\{\epsilon\}$  a Seqüência( $X_i$ )  
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1}X_{i+2}...X_n = \epsilon$  *)  
      if  $\epsilon$  estiver em Primeiro( $X_{i+1}X_{i+2}...X_n$ ) then  
        adicione Seqüência( $A$ ) a Seqüência( $X_i$ )
```

Figura 4.8 Algoritmo para a computação de conjuntos de Seqüência.

# Análise Sintática LL(1)

## Conjuntos FOLLOW

- Exemplo (4.12 – Louden):

Considere novamente a gramática:

$\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

$\text{soma} \rightarrow + \mid -$

$\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

$\text{mult} \rightarrow *$

$\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

$\text{Primeiro}(\text{exp}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{termo}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{fator}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{soma}) = \{ +, - \}$

$\text{Primeiro}(\text{mult}) = \{ * \}$

# Análise Sintática LL(1)

Tabela 4.8 Computação de conjuntos de Seqüência para a gramática do Exemplo 4.12.

Regra gramatical	Passada 1	Passada 2
$exp \rightarrow exp \text{ soma}$ <i>termo</i>	$Seqüência(exp) = \{ \$, +, - \}$ $Seqüência(soma) = \{ (, \text{número} \}$ $Seqüência(termo) = \{ \$, +, - \}$	$Seqüência(termo) = \{ \$, +, -, *, ) \}$
$exp \rightarrow termo$		
$termo \rightarrow termo \text{ mult}$ <i>fator</i>	$Seqüência(termo) = \{ \$, +, -, * \}$ $Seqüência(mult) = \{ (, \text{número} \}$ $Seqüência(fator) = \{ \$, +, -, * \}$	$Seqüência(fator) = \{ \$, +, -, *, ) \}$
$termo \rightarrow fator$		
$fator \rightarrow ( exp )$	$Seqüência(exp) = \{ \$, +, -, ) \}$	

$Primeiro(exp) = \{ (, \text{número} \}$   
 $Primeiro(termo) = \{ (, \text{número} \}$   
 $Primeiro(fator) = \{ (, \text{número} \}$   
 $Primeiro(soma) = \{ +, - \}$   
 $Primeiro(mult) = \{ * \}$

$Seqüência(exp) = \{ \$, +, -, ) \}$   
 $Seqüência(soma) = \{ (, \text{número} \}$   
 $Seqüência(termo) = \{ \$, +, -, *, ) \}$   
 $Seqüência(mult) = \{ (, \text{número} \}$   
 $Seqüência(fator) = \{ \$, +, -, *, ) \}$

```

Seqüência(símbolo-inicial) := { $ } ;
for cada não-terminal A # símbolo-inicial do Seqüência(A) := { } ;
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do
  for cada produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do
    for each  $X_i$  que for não-terminal do
      adicione  $Primeiro(X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n) - \{ \epsilon \}$  a  $Seqüência(X_i)$ 
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n = \epsilon$  *)
      if  $\epsilon$  estiver em  $Primeiro(X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n)$  then
        adicione  $Seqüência(A)$  a  $Seqüência(X_i)$ 

```



# Análise Sintática LL(1)

Exercício: construa os conjuntos First e Follow para a GLC abaixo.

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \epsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \epsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid \text{número}$

$\text{Primeiro}(exp) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(exp') = \{ +, -, \epsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(soma) = \{ +, - \}$   
 $\text{Primeiro}(termo) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(termo') = \{ *, \epsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(mult) = \{ * \}$   
 $\text{Primeiro}(fator) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Seqüência}(exp) = \{ \$, ) \}$   
 $\text{Seqüência}(exp') = \{ \$, ) \}$   
 $\text{Seqüência}(soma) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Seqüência}(termo) = \{ \$, ), +, - \}$   
 $\text{Seqüência}(termo') = \{ \$, ), +, - \}$   
 $\text{Seqüência}(mult) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Seqüência}(fator) = \{ \$, ), +, -, * \}$

# Análise Sintática LL(1)

## Construção da Tabela Preditiva

- Repetir os dois passos a seguir para cada não-terminal  $A$  e escolha de produção  $A \rightarrow \alpha$ 
  - Para cada terminal  $a$  em  $\text{FIRST}(\alpha)$ , adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$ ;
  - Se  $\epsilon$  pertencer a  $\text{FIRST}(A)$ , para cada elemento  $a$  de  $\text{FOLLOW}(A)$  adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$ .

# Análise Sintática LL(1)

## Exemplo de construção de tabela preditiva (4.15 – Louden)

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \varepsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \varepsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid número$

$Primeiro(exp) = \{ (, número \}$   
 $Primeiro(exp') = \{ +, -, \varepsilon \}$   
 $Primeiro(soma) = \{ +, - \}$   
 $Primeiro(termo) = \{ (, número \}$   
 $Primeiro(termo') = \{ *, \varepsilon \}$   
 $Primeiro(mult) = \{ * \}$   
 $Primeiro(fator) = \{ (, número \}$

$Seqüência(exp) = \{ \$, ) \}$   
 $Seqüência(exp') = \{ \$, ) \}$   
 $Seqüência(soma) = \{ (, número \}$   
 $Seqüência(termo) = \{ \$, ), +, - \}$   
 $Seqüência(termo') = \{ \$, ), +, - \}$   
 $Seqüência(mult) = \{ (, número \}$   
 $Seqüência(fator) = \{ \$, ), +, -, * \}$

# Análise Sintática LL(1)

Para cada não-terminal  $A$  e escolha de produção  $A \rightarrow \alpha$ :

Para cada terminal  $a$  em  $\text{FIRST}(\alpha)$ , adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$ ;

Se  $\epsilon$  pertencer a  $\text{FIRST}(A)$ , para cada elemento  $a$  de  $\text{FOLLOW}(A)$  adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$ .

Tabela 4.4 Tabela de análise sintática LL(1) para a gramática da Figura 4.4.

$M[N, T]$	(	número	)	+	-	*	\$
$exp$	$exp \rightarrow$ $termo\ exp'$	$exp \rightarrow$ $termo\ exp'$					
$exp'$			$exp' \rightarrow \epsilon$	$exp' \rightarrow$ $soma$ $termo\ exp'$	$exp' \rightarrow$ $soma$ $termo\ exp'$		$exp' \rightarrow \epsilon$
$soma$				$soma \rightarrow$ +	$soma \rightarrow$ -		
$termo$	$termo \rightarrow$ $fator$ $termo'$	$termo \rightarrow$ $fator$ $termo'$					
$termo'$			$termo' \rightarrow$ $\epsilon$	$termo' \rightarrow \epsilon$	$termo' \rightarrow \epsilon$	$termo' \rightarrow$ $mult$ $fator$ $termo'$	$termo' \rightarrow$ $\epsilon$
$mult$						$mult \rightarrow$ *	
$fator$	$fator \rightarrow$ ( $exp$ )	$fator \rightarrow$ número					

$exp \rightarrow termo\ exp'$

$exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \epsilon$

$soma \rightarrow + \mid -$

$termo \rightarrow fator\ termo'$

$termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \epsilon$

$mult \rightarrow *$

$fator \rightarrow ( exp ) \mid \text{número}$

$\text{Primeiro}(exp) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(exp') = \{ +, -, \epsilon \}$

$\text{Primeiro}(soma) = \{ +, - \}$

$\text{Primeiro}(termo) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(termo') = \{ *, \epsilon \}$

$\text{Primeiro}(mult) = \{ * \}$

$\text{Primeiro}(fator) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Seqüência}(exp) = \{ \$, ) \}$

$\text{Seqüência}(exp') = \{ \$, ) \}$

$\text{Seqüência}(soma) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Seqüência}(termo) = \{ \$, ), +, - \}$

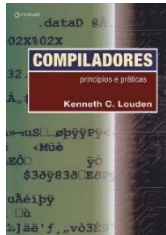
$\text{Seqüência}(termo') = \{ \$, ), +, - \}$

$\text{Seqüência}(mult) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Seqüência}(fator) = \{ \$, ), +, -, * \}$

# Análise Sintática LL(1)

## Bibliografia consultada



LOUDEN, K. C. **Compiladores: princípios e práticas.**  
São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.

MERINO, M. **Notas de Aulas - Compiladores,**  
UNIMEP, 2006.